

مجلّة الواحات للبحوث والدراسات
ردمد 7163 -1112 العدد 11 (2011) : 29 - 58
http://elwahat.univ-ghardaia.dz

النمذجة الرياضية التعرف الآلي على الحرف العربي رسم الهمزة أنموذجا

سهام موساوي
قسم اللغة العربية وآدابها جامعة حسيبة بن بوعلي شلف

مقدمة

تحتاج عملية التعرف الآلي على الحرف العربي إلى تمثيلات رياضية واسعة للعينات الخطية، من أجل تشخيص مواصفاتها وتحويل العينة من حرف مكتوب بخط اليد إلى خط مطبوع، كما تحتاج هذه التطبيقات إلى معارف علمية ومعلومات لسانية دقيقة، فيقارن الحاسوب بين الوحدة الخطية التي يستقبلها والأطياف المخزنة لديه مسبقا، على هيئة طيف من الموجات الكهرومغناطيسية"[1]، ولكي يتمكن النظام من التعرف الآلي على الشكل الخطي الذي تحمله هذه الإشارة يقوم بتحليلها بطرق هندسية ورياضية معينة، لاستخلاص المعايير الأساسية لشكل الحرف العربي.

لذا ارتأينا البحث في بعض المقاربات الرياضية لصورنة الضوابط الإملائية واللغوية، لرسم الهمزة العربية بهدف تهيئتها للتعرف الآلي بواسطة الحاسوب انطلاقا من "المنهج الإحصائي المعتمد عليه في جمع البيانات الخاصة"[2] برسم الهمزة العربية، والتي تتمثل في أربعة أنواع هي:

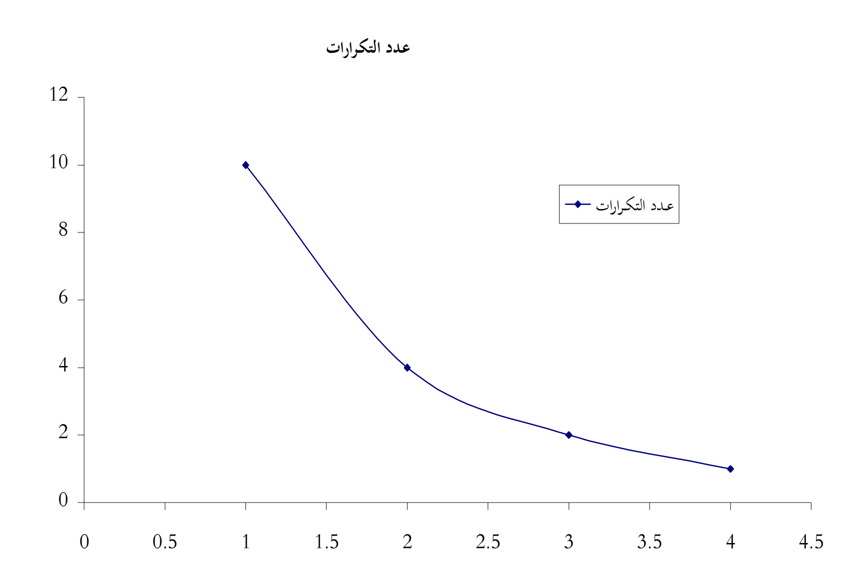
1) **الهمزة على الألف:** أ، إ، ـأ، ـإ، آ، اَ، ـآ، لأ، لإ، لآ.
2) **الهمزة على الواو:** ـؤ، ؤ.
3) **الهمزة على النبر:** ئـ، ـئـ، ـئ، ئ.
4) **الهمزة المتطرفة:** ء.

1- التمثيل الإحصائي لرسم الهمزة العربية

يمكن أن تمثل هذه الأنواع ضمن منحنى تكراري لحساب معدلات تكرارها»[3] في النصوص المكتوبة بخط اليد كالآتي:

الهمزة	عدد.التكرارات
على الألف	9
على الواو	2
على الياء	4
المتطرفة	1

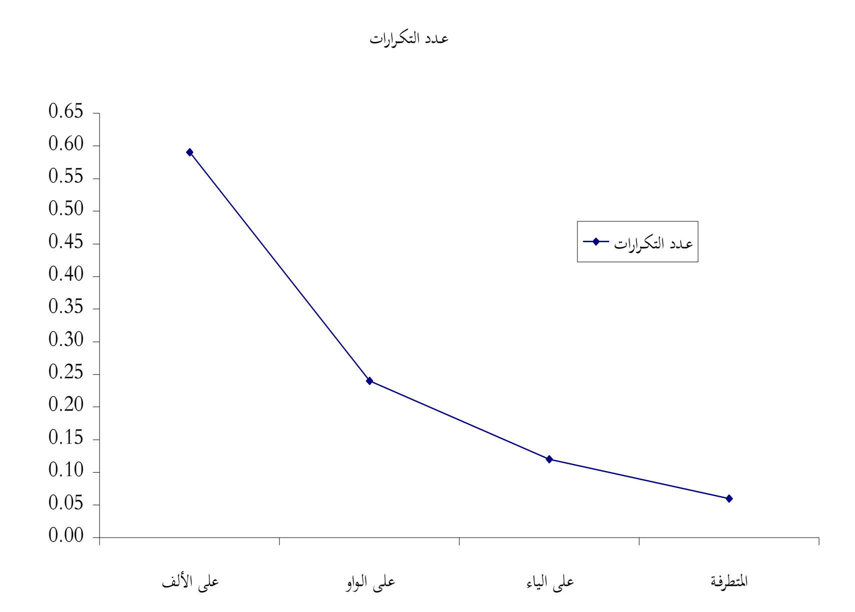
يمكن أن نمثل الجدول بالمنحنى التالي:



"يمثل المنحنى للتوزيع التكراري لرسم الهمزة الذي نستطيع من خلاله تحليل شكل الهمزة وإدراك صفاتها الخطية، ويطلق على هذا الجدول اسم الجدول التكراري البسيط المطلق ويمكن تحويله إلى جدول تكراري نسبي وذلك بقسمة عدد التكرارات أمام كل صفة على القيمة الإجمالية للتكرار في الجدول البسيط المطلق"[4] كما يلي:

الجدول التكراري النسبي

الهمزة	عدد.التكرارات النسبية
على الألف	0.59
على الواو	0.12
على الياء	0.24
المتطرفة	0.06

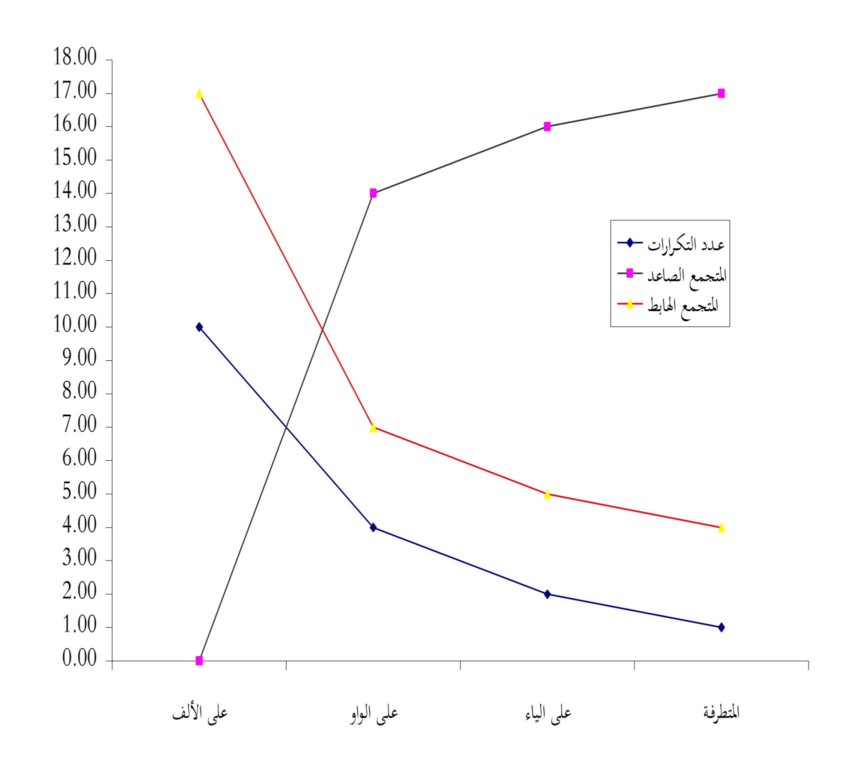


لقد أضاف الجدول التكراري النسبي تحليلا جديدا لخصائص توزيع رسم الهمزة على مختلف أصنافها ليس على أساس مطلق فحسب بل على أساس نسبي أيضا فيمكننا أن نقول أن هناك 0.59 من مجموع رسم الهمزة على الألف بتقدير أعلى في رسم الخط العربي في حين أن هناك 0.06 من مجموع رسم الهمزة العربية المتطرفة بتقدير منخفض في رسم الخط العربي.

الجدول التكراري الصاعد والهابط

الهمزة	عدد التكرارات	المتجمع الصاعد	المتجمع الهابط
على الألف	10	0	17
على الواو	2	14	5

7	16	4	على الياء
4	17	1	المتطرفة



"تتلخص الفكرة التي يقوم عليها إعداد جدول تكراري المتجمع الصاعد عل تحديد الحدود العليا بجمع الفئات الأصلية وأيضا الحد الأدنى للفئة الأولى بالجدول التكراري الأصلي ويقوم الجدول التكراري المتجمع الهابط بتحديد الحدود الدنيا والعليا لجميع الأشكال وذلك بطرح عدد تكرار الشكل الأصلي الأول من إجمال التكرارات ومن الرصيد السابق يطرح تكرار الفئة الثانية وهكذا باقي الفئات»[5] وعليه يمكن إيجاد أكبر عدد ممكن لرسم الهمزة العربية لا يقل عن 17 وأكبر نسبة للكتابة الهمزة في أوضاع مختلفة هي 0.59 من المجموع الكلي وذلك في حالة رسمها على الألف.

أقل عدد ممكن لرسم الهمزة العربية لا يزيد عن 5 أشكال لأن الهمزة المكتوبة على النبر ليس لديها إلا حالتين لكتابتها وفقا لحركتها أو حركة ما قبلها

المتوسط الحسابي:«هو حاصل قسمة مجموع عناصر المجموعة على عدد أنواع الهمزة

$$س = \frac{مج\ س}{ن} \Leftrightarrow س = \frac{17}{4} = 4.25$$

يستعمل المتوسط الحسابي ليدل على أن هناك قيمة منخفضة متطرفة في البيانات إذا كانت قيمة المتحصل عليها منخفضة أو أن هناك قيمة مرتفعة إذا كانت القيمة المتحصل عليها مرتفعة وهذا ما يدعو إلى ملاحظة أن درجة رسم الهمزة العربية المتطرفة يعدو أن ينعدم في الخط اليدوي.

التباين: هو متوسط مربعات انحراف القيم من متوسطها الحسابي.

الانحراف المعياري: هو الجذر التربيعي لمتوسط مربعات انحراف القيم عن متوسطها الحسابي.

التباين: ع2 الانحراف المعياري:

$ع^2 = ع \sqrt{\ }$

ع2

$$ع2 = \frac{مج\ س^2 - م"^1}{ن} = \frac{34 - 4.25}{3} = \frac{29.75}{3} = 9.91$$

$$ع = \sqrt{9.91} = 3.148$$

من خلال القيم المتحصل عليها من التباين والانحراف المعياري نستطيع استخلاص مدى استقرار أو ثبات رسم الهمزة العربية أو اختلاف رسمها من نوع لآخر وتحليل هذا التباين والانحراف يدل على أنه لا يمكننا رسمها

2- التمثيل المنطقي لرسم الهمزة العربية:

يمكننا اعتبار أن رسم الهمزة العربية على الألف والواو والياء هي "قضية منطقية باستطاعتنا أن نحكم عليها بالصحة 1 أو بالخطأ 0 كالتالي:

ونرمز لقيمة القضية ب:

1: صحيحة

0: خاطئة

ق	ص
1	0
0	1

الهمزة المتوسطة على الألف:

1–الفتح مجاور لهمزة مفتوحة: باستعمال خصائص الروابط المنطقية يمكننا أن نقرأ هذه القضية كالآتي: ق ⇐ ك

ق	ك	ق ⇐ ك
1	1	1

ونقرأ ق(حركة التجاور) يستلزم ك(حامل الهمزة) لأن الفتح يستلزم رسم الهمزة على الألف.حسب القاعد الإملائية

2– السكون المجاور لهمزة مفتوحة: نقرأ: ق ⇔ ك السكون يكافئ رسم الهمزة على الألف المفتوحة لأن الألف حركة طويلة للفتحة ورمز خطي للهمزة الحاملة أو المجاورة للسكون من دون الحركات الأخرى فتكافئ الفتحة مع السكون في رسم حامل الألف مع الهمزة

الهمزة المتوسطة على النبر

1 كسر مجاور لهمزة مكسورة. نقرأ: ق ⇐ ك ونقرأ ق(حركة التجاور) يستلزم ك(حامل الهمزة) لأن الفتح يستلزم رسم الهمزة على الألف. حسب القاعد الإملائية.

ق	ك	ق⇔ك
1	1	1

ق	ك	ق ⇐ ك
1	1	1

2– ضم مجاور لهمزة مكسورة تقرأ: ق V ك

ونقرأ ق أو (فصل) ك لأن الضمة لا توافق حركة الهمزة، فترسم الهمزة على النبر لقوة تأثيرها خطيا على الضم

ق	ك	ق v ك
0	1	0

3– فتح مجاور لهمزة مكسورة نقرأ: ق v ك ونقرأ ق أو (فصل) ك لأن الفتحة لا توافق حركة الهمزة، فترسم الهمزة على النبر لقوة تأثيرها خطيا على الفتح

ق	ك	ق v ك
0	1	0

4– سكون مجاور لهمزة مكسورة ونقرأ: ق Λ ك

نقرأ ق وصل ك لوصل حركة السكون الشبهة بالوقف. أي عدم تحرك الحرف القبلي المجاور للهمزة المكسورة فتحافظ الهمزة على رسمها فوق النبر.

ق	ك	ق Λ ك
0	1	0

5– كسر مجاور لهمزة مضمومة أو مفتوحة ونقرأ: ق V ك

نقرأ ق أو ك يغلب حركة التجاور بالكسر على رسم الهمزة العربية فتكتب على النبر.

ق	ك	ق V ك
1	0	1

6- الياء الساكنة المجاورة همزة مفتوحة أو مضمومة.ونقرأ:ق V ك يغلب التجاور بالياء على رسم الهمزة العربية فتكتب على النبر

ق	ك	ق V ك
1	0	1

7- الياء الساكنة المجاورة لهمزة مكسورة.و نقرأ: ق⇔ك ونقرأ: ق تكافئ ك لأن النبر الذي تكتب عليه الهمزة المكسورة أصل تلك الياء الذي تجاوره

ق	ك	ق ⇔ ك
1	1	1

الهمزة المتوسطة على الواو

8- الضم مجاور لهمزة ساكنة. ونقرأ: ق⇔ك السكون يكافئ رسم الهمزة على الواو المفتوحة لأن الواو حركة طويلة للفتحة ورمز خطي للهمزة الحاملة أو المجاورة للسكون من دون الحركات الأخرى فتتكافئ الواو مع السكون في رسم حامل الواو مع الهمزة

ق	ك	ق ⇔ ك
1	0	1

9- الضم مجاور لهمزة مضمومة ونقرأ: ق ⇐ ك ونقرأ: استلزام رسم الضم مع الواو

ق	ك	ق ⇐ ك
1	1	1

الضم مجاور لهمزة مفتوحة وتقرأ: ق V ك ونقرأ ق أو (فصل) ك فترسم الهمزة على الضم لقوة تأثيرها خطيا على الضم

ق	ك	ق V ك
1	0	1

خواص القضايا المنطقية لرسم الهمزة العربية:

ق ⇔ ق: في حالة استلزام رسم الهمزة مع حركة ما قبلها.

قΛ ك ⇔ كΛ ق: وصل التجاور السابق مع الهمزة يكافئ وصل حركة الهمزة مع حركة ما قبلها.

ق V ك ⇔ ك V ق : فصل التجاور السابق للهمزة يكافئ فصل حركة الهمزة مع حركة ما قبلها.»[6]

تتأثر الهمزة بحركة ما يجاورها فتأخذ طبيعة الشكل لهذه الحركة، ونلاحظ هذه الأشكال كما يلي:

أً: ألف يرتفع من السطر إلى الأعلى فوقه همزة صغيرة فوقه فتح قصير بين كل وحدة خطية فراغ يفصل بين الهمزة والحامل وبين الهمزة وحركتها.

أُ: فوقه همزة صغيرة فوقه واو صغيرة تكاد تلتصق كل وحدة بالأخرى.

إِ: ألف يرتفع من السطر إلى الأعلى تحته همزة تحتها كسر.

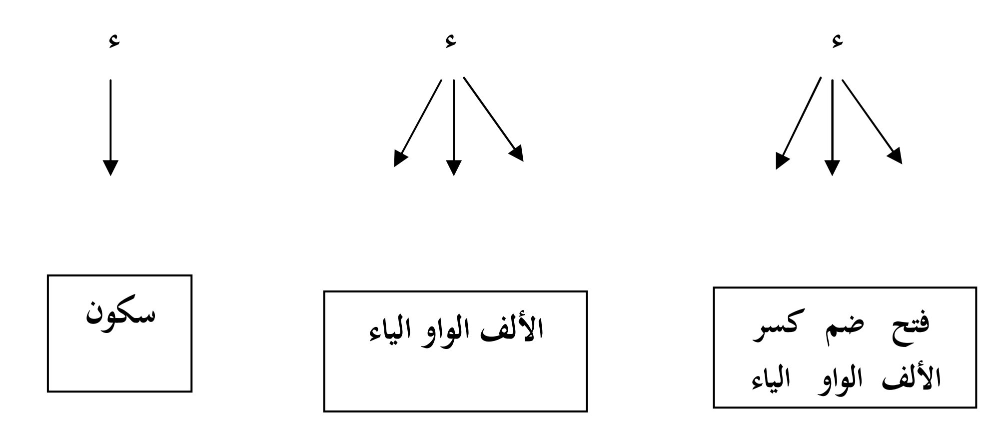
ؤُ: واو كبيرة تهبط على السطر فوقها همزة فوقها واو صغيرة.

ئ: ياء ملتوية على السطر فوقها همزة.

ء: همزة تشبه رأس صورة حرف العين.

3 – التمثيل الاحتمالي لرسم الهمزة العربية

تكتب الهمزة العربية وفقا لضوابط حركية معينة منها الحركات القصيرة والحركات الطويلة بغض النظر عن السكون كما يلي:



بحيث تعد الحركات الطويلة حوامل توضع عليها الهمزة في حالة الفتح مع الألف وحالة الضم مع الواو وفي حالة الكسر مع النبر، والألف المكسورة التي تشبه الياء. أما في حالة المد والتنوين فتكتب بهذا الشكل:

	المد بالفتح	المد بالضم	المد الكسر	التنوين بالفتح	التنوين بالضم	التنوين بالكسر
الواو		ؤُو			ءٌ/ؤٌ/أٌ	
الألف	آ			ءً/أً		
الكسر			ئِي/ئِي			ءٍ/إٍ

تأخذ الهمزة شكلا مغايرا في حالة رسمها مع المد بالفتح، وتحافظ على رسمها مع الواو والياء بزيادة واو مع حامل الواو للهمزة وزيادة الياء أمام حامل النبر للهمزة فيعطي المد نغمة خطية للهمزة بتكرار الحركات الطويلة مع الحركات القصيرة وفي التنوين فيتكرر الضم فوق الهمزة المضمومة ويتكرر الفتح مع الهمزة المفتوحة ويتكرر الكسر مع الهمزة المكسورة.

5) عدد الحركات «التي تبتدأ بها الهمزة هي 3 إما الفتحة أو الضمة أو الكسرة.

6) عدد الحركات التي تتوسطها الهمزة هي 5 إما سكون أو فتحة أو ضمة أو كسرة أو فتحة مشددة.

7) عدد الحركات التي تنتهي بها الهمزة العربية هي 7 سكون أو فتحة أو ضمة أو كسرة أو تنوين بالفتح أو تنوين بالضم أو تنوين بالكسر»[7]

هذه الأرقام تمثل أعلى الإمكانات لرسم الهمزة العربية مع الحركات كالآتي:

موقع الهمزة	عدد ضوابطه
بداية الهمزة	3
وسط الهمزة	5
نهاية الهمزة	7

يمكننا أن نبرهن على إمكانات تغير حركة الهمزة في مواقعها الثلاث داخل البنية الخطية باستعمال العمليات الحسابية الآتية:

لدينا 3 ضوابط مجموعها هي 15 تفسر بالقانون الاحتمالي:[8]

$$= \frac{\text{ن} \times (\text{ن} - 1)}{\text{ه}} \quad \text{ق}_{\text{ن}}^{\text{ه}}$$

احتمال عدد الحالات الممكنة تغير حركة الهمزة العربية في بداية الوحدة الخطية

$$= \frac{14 \times 15}{3} = \frac{210}{3} = 70 = \frac{70}{14} = 5$$

احتمال عدد الحالات الممكنة تغير حركة الهمزة العربية في وسط الوحدة الخطية

$$= \frac{14 \times 15}{5} = \frac{210}{5} \quad \text{ق}_{15}^{5} = 42$$

احتمال عدد الحالات الممكنة لتغير حركة الهمزة العربية في نهاية الوحدة الخطية

$$= \frac{14 \times 15}{7} = \frac{210}{7} \text{ق}_{15}^{7} = 30$$

تبرهن هذه الحالات الحسابية لتغير حركة الهمزة العربية على كثرة استعمال الهمزة في الكتابة العربية مما يستدعي وجود حركات إملائية تبين وظيفتها الخطية، وورود الهمزة في أكثر من شكل خطي .

4- التمثيلات الاشتقاقية لرسم الهمزة العربية:

«تختص هذه التمثيلات الاشتقاقية بتحديد ملامح العلاقة بين الشكل الهندسي للهمزة وقواعدها الإملائية التي تضبط رسمها. بحيث تحافظ على خصوصيات الكتابة العربية. لذا يستوجب الأخذ بعين الاعتبار السمات الشكلية للوحدة الخطية لتحديد المحور الأساسي الذي يدور حوله شكلها الهندسي في مستوياتها الكتابية.»[9]

الاشتقاق: «يكون الاشتقاق بين الوحدات الخطية التي جاءت على صيغ شكلية مختلفة ولكنها تشترك في أصول أشكالها الهندسية وهذه الصلة تدرس تحت باب "الاشتقاق الخطي" أي الاشتراك في الشكل الأصلي».[10] فتؤدي كل وحدة وظيفة خطية تميزها عن الأخرى وتختلف عنها تماما مثل اشتراك حرف الواو مع الهمزة المحمولة فوق الواو في نفس الصيغة واشتقاق الألف الحاملة للهمزة من حرف الألف

الحرف	وظيفة الاشتقاق	أصل المشتقة	وظيفة الاشتقاق
الألف: (ا)	**الوظيفة الخطية الحملية للهمزة.**	أ	**الوظيفة الخطية الحرفية**
الواو: (و)	**الوظيفة الخطية الحملية للهمزة**	ؤ	**الوظيفة الخطية الحرفية**
النبر: (ى)	**الوظيفة الخطية الحملية للهمزة**	ئ	**الوظيفة الخطية لحرفية.**

ونبر الهمزة من حرف الياء كما يوضح الجدول الآتي:

إن حركة الهمزة العربية تحتم رسمها فوق الحامل الذي يناسب حركتها، ذلك لأن أصل الألف هو مد الفتح وأصل الواو هو مد الضم وأصل النبر هو مد الياء، فهي عبارة عن مشتقات لجذور حروف خطية تظهر على رسم الهمزة في أشكال وقوالب متميزة.

ومن المعروف أن الهمزة ترسم دائما فوق حامل الألف سواء مع الفتح أو الضم وتوضع تحت الكسر إذا كتبت في أول الوحدة الخطية (أً، أُ، إِ) لذا يعد الألف الحامل الرئيسي للهمزة العربية، أما الحوامل الأخرى(الواو، الياء) فهي فرعية تستدعيها حركة الهمزة المتصلة بها أو المجاورة لها، حسب ما تمليه القاعدة الإملائية، فيشتق من هذه الحركة حامل الهمزة الذي يناسبها سواء الألف أو الواو أو النبر ومنه يكون هذا الحامل نائب عن حركة الهمزة

أو حركة المد إما في حالة التجاور أو حالة الاتصال ومنه نكتب:

لتكن: (ا)⟵(− +)∀ (ء)↑ (ا): إما [(ءَ)أو (ء) − +] نقرأ:

لتكن (ا)مشتقة من حركة الفتح فمهما تكون الهمزة فوق حامل الألف فإنها فتكتب مفتوحة أو مجاورة للفنح حسب ما تمليه القاعدة الإملائية لرسم الهمزة

لتكن: (و)⟵(◌ُ+)∀ (ء)↑ (و): إما [(ءُ)أو (ء) − +] نقرأ:

لتكن (و)مشتقة من حركة الضم فمهما تكون الهمزة فوق حامل الواو فإنها فتكتب مضمومة أو مجاورة لضم حسب ما تمليه القاعدة الإملائية لرسم الهمزة

لتكن: (ى)⟵(− +)∀ (ء)↑ (و): إما [(ءِ)أو (ء) − +] نقرأ:

لتكن (ى)مشتقة من حركة الكسر فمهما تكون الهمزة فوق حامل النبرفإنها فتكتب مكسورةة أو مجاورة للكسر حسب ما تمليه القاعدة الإملائية لرسم الهمزة

حالة عدم الاشتقاق:

مهما تكن الهمزة مفتوحة أو مضمومة أو مكسورة مجاورة للفتح أو الضم أو الكسر فإنها ترسم دائما فوق الألف مع حركة الفتح والضم وترسم تحت الألف مع

حركة الكسر إذا وفقط إذا احتلت المرتبة الأولى في الوحدة الخطية ولا يحدث اشتقاق مع غيرها من الحركات ونحصل على القاعدة الآتية :

∀(ء) (− +) /(ءَ): ← (ء) ↑ (ا):**إذا وفقط إذا [** (ء):م = 1 **]**

∀(ء) (+ُ) / (ءُ): ← (ء) ↑ (ا):**إذا وفقط إذا [** (ء):م = 1 **]**

∀(ء) (+ِ) / (ءِ): ← (ء) ↓ (ا):**إذا وفقط إذا [** (ء):م = 1 **]**

5 – التمثيل التوزيعي لرسم الهمزة العربية

«يختص هذا الضابط ببنية الهمزة الشكلية المكونة من قرافيمات ملتصقة ومنفصلة مع بعضها البعض أي أنه يصف العلاقات البنيوية بين المكونات والأجزاء في الوحدة الخطية على غرار القواعد الإملائية لرسم الهمزة العربية»[11] ويمكننا استخلاص هذه العلاقة البنيوية باستعمال النظام التوزيعي للهمزة العربيةكالآتي:

سنحاول اختزال أشكال الوحدات الخطية المتشابهة في الصيغة عن طريق مجموعات منتظمة تجمع الأشكال المتقاربة والمتشابهة شكلا فيما بينها والتي لا يختلف رسمها إذا جاورت الهمزة:

8) المجموعة الأولى: 3) المجموعة الثالثة: 5) المجموع الخامسة:

{ ب، ت، ث } { د، ذ، ر، ز، و } { ك }

8) المجموعة الثانية: 4) المجموعة الرابعة: 6) المجموعة السادسة:

{ ج، ح، خ ،ع، غ } { س، ش، ص، ض } { ف، ق، ن }

7) المجموعة السابعة: 8) المجموعة الثامنة: 9) المجموعة التاسعة:

{ ي } { ل ،الألف } { هـ }

10) المجموعة العاشرة:

{ ط، ظ }

إن عملية تمييز الهمزة العربية وتعلم رسمها يحتاج إلى تدقيق في طريقة توزيعها على حوامل (ا، و، ى) مع مختلف حركاتها وطريقة تركيبها مع الوحدات الخطية الأخرى مع مراعاة التمييز متى تكون الألف والواو والياء حوامل للهمزة ومتى تكون وحدات خطية مجاورة لها، لتؤدي دلالات خطية جديدة، لذا وجب علينا إجراء عملية حصر تسهل علينا عملية توزيع أشكال الهمزة مع مختلف الوحدات الخطية، وفقا لحركاتها وبمختلف تموضعاتها دون مراعاة معنى هذه الأشكال .

	في وسط الوحدة الخطية			في آخر الوحدة الخطية			
	الواو	الألف	النبر	الواو	الألف	الياء	بدوء حامل
الألف	اؤ	X	ائـ	اؤ	X	ئ	اء
الباء	بؤ	بأ	بئـ	بؤ	بأ	بئ	
التاء	تؤ	تأ	تئـ	تؤ	تأ	تئ	
الثاء	ثؤ	ثأ	ثئـ	ثؤ	ثأ	ثئ	
الجيم	جؤ	جأ	جئـ	جؤ	جأ	جئ	
الحاء	حؤ	حأ	حئـ	حؤ	حأ	حئ	
الخاء	خؤ	خأ	خئـ	خؤ	خأ	خئ	
الدال	دؤ	دأ	دئـ	دؤ	دأ	دئ	دء
الذال	ذؤ	ذأ	ذئـ	ذؤ	ذأ	ذئ	ذء
الراء	رؤ	رأ	رئـ	رؤ	رأ	رئ	رء
الزاي	زؤ	زأ	زئـ	زؤ	زأ	زئ	زء
السين	سؤ	سأ	سئـ	سؤ	سأ	سئ	
الشين	شؤ	شأ	شئـ	شؤ	شأ	شئ	
الضاء	ضؤ	ضأ	ضئـ	ضؤ	ضأ	ضئ	
الطاء	طؤ	طأ	طئـ	طؤ	طأ	طئ	
الصاد	صؤ	صأ	صئـ	صؤ	صأ	صئ	
الظاء	ظؤ	ظأ	ظئـ	ظؤ	ظأ	ظئ	

العين	عؤ	عأ	عئ	عؤ	عأ	عئ	
الغين	غؤ	غأ	غئ	غؤ	غأ	غئ	
الفاء	فؤ	فأ	فئ	فؤ	فأ	فئ	فـء
القاف	قؤ	قأ	قئ	قؤ	قأ	قئ	
الكاف	كؤ	كأ	كئ	كؤ	كأ	كئ	
اللام	لؤ	لأ	لئ	لؤ	لأ	لئ	
الميم	مؤ	مأ	مئ	مؤ	مأ	مئ	
النون	نؤ	نأ	نئ	نؤ	نأ	نئ	
الهاء	هؤ	هأ	هئ	هؤ	هأ	هئ	
الواو	وؤ	وأ	وئ	وؤ	وأ	وئ	وء
الياء	يؤ	يأ	يئ	يؤ	يأ	يئ	

التوزيع في وسط الوحدة الخطية:

(1)		(2)	(3)	(4)
	همزة مضمومة	**همزة مفتوحة**	**همزة مكسورة**	**همزة ساكنة**
ضم (أ)	ـؤ (**5**)	ـؤ (**6**)	ـئـ (**7**)	ـؤ (**8**)
فتح (**ب**)	ـؤ (**9**)	ـأ (**10**)	ـئـ (**11**)	ـأ (**12**)
كسر (ج)	ـئـ (**13**)	ـئـ (**14**)	ـئـ (**15**)	ـئـ (**16**)
سكون (**د**)	ـؤ (**17**)	ـأ (**18**)	ـئـ (**19**)	(**20**)

يمثل الجدول توزيع الهمزة العربية بحسب حركاتها وبحسب الحركة المجاورة لها وطريقة توزيع شكلها في تموضعها وسط الوحدة الخطية.

"يمكن اعتبار قائمة الهمزة في أعلى الجدول هي قائمة استبدالية تسمى بالفاصلة ع واعتبارا لقائمة الحركات المجاورة لها هي قائمة تركيبية تسمى ع وتمثلها في إحداثيتي النقطة (س،ع) ونقول أن الزوج (س،ع) يمثل مختلف أشكال رسم الهمزة العربية في المستوى س،ع: مثل الشكل التالي كما يمكننا أن نرمز للأشكال بالأسس الظاهرة على الجدول.

تتنوع الهمزة العربية في القائمة الاستبدالية على القائمة التركيبية المجاورة للحركات الضم والفتح والكسر والسكون كما يلي باستعمال الأزواج المرتبة التالية:

نسمي س المركبة الأولى للزوج المرتب.

نسمي ع المركبة الثانية للزوج المرتب.

نضع مايلي:

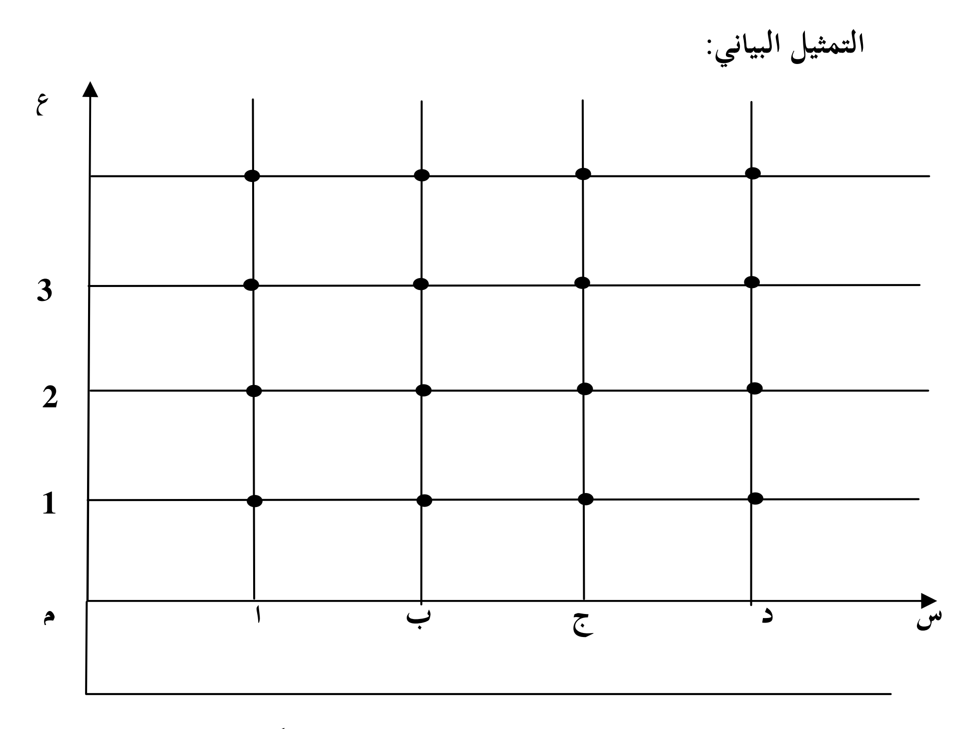
لتكن المجموعة س،ع حيث ع = {1، 2، 3، 4 } وس = {أ، ب، ج، د}.

فإذا وزعنا جميع الأزواج المرتبة التي تنتمي المركبة الأولى إلى المجموعة الأولى س وتنتمي المركبة الثانية إلى المجموعة ع، نحصل على مجموعة جديدة تسمى الجداء الديكارتي للمجموعة س والمجموعة ع هي: {(1، أ)، (1، ب)، (1، ج)، (1، د)، (2، أ)، (2، ب)، (2، ج)، (2، د)، (3، أ)، (3، ج)، (3، د)، (4، أ)، (4، ب)، (4، ج)، (4، د)}.

التمثيل الجدولي: يمكن تمثيل هذا التوزيع للمجموعة (س،ع) حيث نضع عناصر المجموعة س في عمود من جدول عناصر المجموعة ع ونشكل الجدول التالي:

ع	1	2	3	4
أ	(أ، 1)	(أ، 2)	(أ، 3)	(أ، 4)
ب	(ب، 1)	(ب، 2)	(ب، 3)	(ب، 4)
ج	(ج،1)	(ج، 2)	(ج، 3)	(ج، 4)
د	(د،1)	(د، 2)	(د، 3)	(د، 4)

التمثيل البياني:



مثل التوزيع نقاط التقاطع بالنسبة للمستوي ومنه يمكن استخراج المساواة التالية»[12]:

(أ، 1) = (1، 5)	**(ب، 1) = (1، 3)**	**(ج،1) = (1، 13)**
(أ، 2) = (2، 6)	**(ب، 2) = (2، 10)**	**(ج، 2) = (2، 14)**
(أ، 3) = (3، 7)	**(ب، 3) = (3، 11)**	**(ج، 3) = (3، 15)**
(أ، 4) = (4، 8)	**(ب، 4) = (4، 12)**	**(ج، 4) = (4، 16)**

(د،1) = (1، 17)

(د، 2) = (2، 18)

(د، 3) = (3، 19)

(د، 4) = (4، 20)

من هذا التوزيع نستنتج أن:

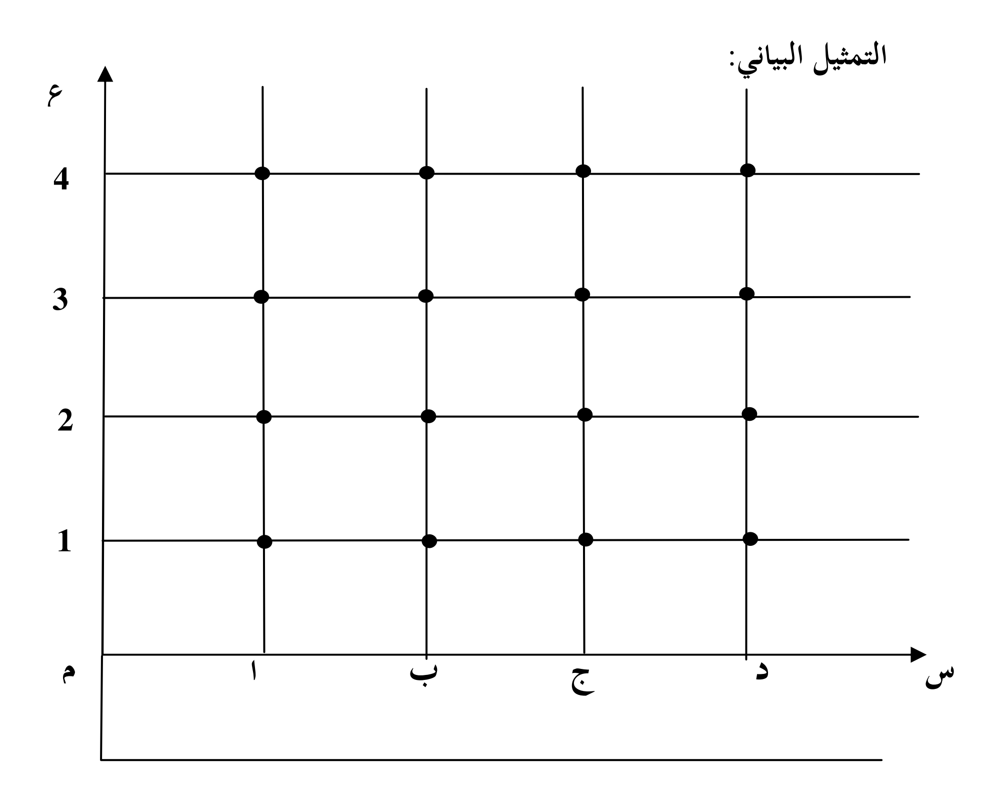
- **أغلب الهمزة على النبر مع اختلاف توزعها سواء مع الضم، الفتح أو السكون.**
- **تحتوي دائما على واصل يربطها بالوحدة الخطية المجاورة لها.**
- **تحافظ الهمزة دائما على حاملها إذا جاورت السكون فهو لا يؤثر عليها.**

التوزيع في نهاية الوحدة الخطية:

	(1) همزة مضمومة	(2) همزة مفتوحة	(3) همزة مكسورة	(4) همزة ساكنة
ضم (أ)	ـؤ (5)	ـؤ (6)	ـئ (7)	ـؤ (8)
فتح (ب)	ـؤ (9)	ـأ (10)	ـئ (11)	ـأ (12)
كسر (ج)	ـئ (13)	ـئ (14)	ـئ (15)	ـئ (16)
سكون (د)	ـؤ (17)	ـأ (18)	ـئ (19)	ـئ (20)

س \ ع	1	2	3	4
أ	(أ، 1)	(أ، 2)	(أ، 3)	(أ، 4)
ب	(ب، 1)	(ب، 2)	(ب، 3)	(ب، 4)
ج	(ج،1)	(ج، 2)	(ج، 3)	(ج، 4)
د	(د،1)	(د، 2)	(د، 3)	(د، 4)

التمثيل البياني:



يمثل التوزيع نقاط التقاطع بالنسبة للمستوي ومنه يمكن استخراج المساواة التالية:

(أ، 1)= (1، 5)

(أ، 2) = (2، 6)

(أ، 3) = (3، 7)

(أ، 4) = (4، 5)

(ب، 1) = (1، 3)

(ب، 2) = (2، 10)

(ب، 3) = (3، 11)

(ب، 4) = (4، 12)

(ج،1)= (1، 13)

(ج، 2) = (2، 14)

(ج، 3) = (3، 15)

(ج، 4) = (4، 16)

(د،1) = (1، 17)

(د، 2) = (2، 18)

(د، 3) = (3، 19)

(د، 4) = (4، 20)

من خلال معطيات توزيع الهمزة العربية في الوحدة الخطية نستنتج أن:

– ترسم الهمزة العربية في أول الكلمة دائما على الألف سواء كانت مفتوحة أو مضمومة أو مكسورة وتسمى بذلك همزة قطع أما إذا جاورت السكون تجاورا لاحقا فهي ترسم بهذا الشكل آ وتسمى همزة وصل لأنها توصل الهمزة بما يلحقها

– من ميزة الكتابة العربية أن حروفها ترسم في نسق ملتصق مع بعضها البعض، عكس الهمزة على الألف التي ترسم بشكلها العمودي المنعزل المخلف لفراغ بينه وبين ما بعده مثل أكل أ ϕ كل هذا الفراغ الوظيفي للوحدة الخطية المتمثلة في الوظيفة الفوقية للهمزة المحمولة فوق الألف على أساس بروزها كحرف قائم بذاته فتكون الألف رأس الوحدة الخطية إذا احتلت الهمزة الموقع الأول من الوحدة سواء كانت الهمزة مع الفتح أو الضم أو الكسر ومنه يمكن صياغة القاعدة الأولى التي تمثل:

– إن احتلال الهمزة العربية المرتبة الأولى والموقع الأول داخل الوحدة الخطية يجعلها ترسم فوق حامل الألف سواء مع الفتح أو الضم أو الكسر باعتبار أن الألف هو رأس فصيلة الحركات الطويلة والقصيرة منها" ضابط الرتبة والموقع يحددان رسم الهمزة في الوحدة الخطية.

– إذا احتلت موقع الوسط داخل الوحدة الخطية فإنها تأخذ أشكال مختلفة بحسب ما يناسبها من حركتها أو حركة ما قبلها حسب ما تمليه عليها القاعدة الإملائية

– إذا حاولنا توزيع الهمزة العربية على باقي الوحدات الخطية المجاورة لها في وسط الوحدة الخطية فإنها لا ترتبط معها إلا بواسطة سوابق خطية تضاف إلى الهمزة متمثلة في وصل خطي بينها وبين ما يسبقها من قرافيمات سواء إذا كانت فوق أو تحت الألف ـإ ـأ أو فوق الواو أو فوق النبر ـؤ ـئ مع جميع الحروف ما عدا الخمسة التي تنفصل عنها وترسم بدون وصل خطي لكونها حروف منقطعة في رسمها مع ما بعدها أو ما يلحقها وهي (الدال، الذال، الراء، الزاي، الواو)، تاركة بذلك فراغا بينها وبين ما يلحقها، وتنفصلان الهمزة فوق أو تحت الألف والهمزة فوق الواو عما بعدهما مع جميع الحروف فينفصلان عنها.

ترسم الهمزة فوق النبر بوصل خطي مع ما يلحقها وما يسبقها مع جميع الحروف هذه السوابق واللواحق الخطية هي عبارة عن إسقاطات هندسية شكلية

توضح علاقة الربط الخطي بين مكونات، وأجزاء الهمزة العربية والتغيرات المختلفة التي تطرأ على صيغتها، فيمثل هذا الوصل الخطي رأس صيغة الهمزة العربية.

أما الهمزة المتطرفة فهي تتأثر بحركة ما قبلها فيتبع الفتح الألف ويتبع الضم الواو ويتبع الكسر النبر أو ترسم دون حامل.

ومنه يمكن صياغة القاعدة الثانية المتمثلة في أن ضابطي "الوصل والفصل يحدد طبيعة التجاور السابق واللاحق لرسم الهمزة العربية فهذه السوابق لها معنى خطي موقعي بوصفها علامة خطية تدل على رتبة القرافيم في الوحدة الخطية»[13]

فبغض النظر عن الرسم الإملائي الذي هو عاملا أساسي في تحديد الضوابط اللغوية للهمزة العربية، فهناك ضوابط شكلية أخرى، تعتبر عاملا أساسيا للتعرف الآلي على رسم الهمزة العربية تتمثل في رتبة الوحدة الخطية وموقعها ضمن باقي الوحدات الأخرى، وتجاورها مع بعضها البعض الذي يحدد اختلاف أوضاعها من حيث الوصل والفصل والفوقية والتحتية لموضع الهمزة

1- ضابط الرتبة: «هي رتبة الحرف في أصل موضعه داخل التركيب، فالرتبة تعني ملاحظة موقع الوحدة الخطية في الصيغة الكلية»[14] أما الترتيب «فهو تتابع الوحدات الخطية داخل الصيغة بحيث تكون لكل وحدة رتبة خاصة بها، ومعنى وظيفي خاص به كذلك»[15] حسب الرتب المحفوظة في نظام في الاستعمال الخطي

2- ضابط الموقع: «نقصد به موضع وحدات الصيغة الخطية بموجب القواعد الإملائية للغة العربية فالحروف لا تبدأ بحركة سكون ولا بد لها أن تتجاور مع حرف متحرك طبقا، لما تبنى عليه المقاطع العربية في أشكالها فسنجد أن كل حرف لا يميل إلى أن يجاور نفسه بل قد يجاور غيره من الحروف ،التي تضم مجموعة من القيم الخطية المختلفة المرتبطة بالقيم التي تناسب الحروف الصحيحة المجاورة له، والحروف جميعها لا تعبر عن أية قيمة خطية بمفردها بل بتجاورها مع غيرها لتحديد موقع ورودها لأنها تضم غرضا موقعيا».[16]

يهدف التحليل اللغوي للحروف، استخراج علامات المواقع وعلاقات التبادل بين الحروف، فالموقعية إذا دراسة علامات المواقع أو دراسة تموضع الحروف في

الموقع طبقا لما يقتضيه سواء أكان هذا الموقع بداية الوحدة الخطية أو وسطها أو نهايتها.

*** موقعية البداية: إن استقلالية الهمزة بهذا الشكل أ /إ، يدل على موقعية البداية أي« أنها تشمل ورود للهمزة الوصل في أول الرسم الإملائي المجاورة لحرف ساكن إذا علامة على هذا لموقع لأنها لا ترد في وسط الكتابة»[17]**

*** موقعية الوسط: تشمل على موقعية نقطة الاتصال، بين الحرف السابق والحرف اللاحق.»[18] .وتكون بهذا الشكل "..."**

*** موقعية النهاية: «تشمل ورود للهمزة الوصل في آخر الرسم الإملائي أي في آخر الوحدة الخطية ».[19]**

3– ضابط المجاورة هي: «تركيب الوحدات الخطية مباشرة الواحدة تلوى الأخرى دون أي عارض بينهما؛

4– ضابط الوصل والفصل: عكس الوصل هو الفصل ونجدهما بين وحدتين خطيتين متتاليتين متقطعة أولهما عن الثانية أو أن إحداهما متصلة بالأخرى اتصالا كاملا لدرجة عدم احتياجها إلى الربط وأما الوصل فهو ربط وحدتين أو أكثر بواسطة رابط خطي؛

5– ضابط الفوقية والتحتية هي: رسم الهمزة فوق حامل ما لتؤدي وظيفة حركة معينة إما وظيفة الفتح، أو الضم، وتكون التحتية هي رسم الهمزة تحت حامل الألف لتؤدي وظيفة حركة الكسر»[20]

و يمكن صياغة القواعد الآتية:

∀(ء) ∈ مج(ح) [أ، إ، آ، ٱ] : م = 1 ^ مو =1 وتقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذه الأشكال: أ، إ، آ، ٱ إذا وفقط إذا كانت في المرتبة الأولى والموقع الأول.

∀(ء) ∈ مج(ح) [(ϕأ)، (ϕإ)، (ϕآ)]: مر≤ 1 مو≤1 → {د، ذ، ر، ز، و، ا }– مح(ح)

تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذه الأشكال: (أ، إ، آ) **إذا وفقط إذا كانت مسبوقة بالحروف** (د، ذ، ر، ز، و) **منفصلة عنها بفراغ وظيفي يفصل بين الوحدتين المتجاورتين خطيا والمنفصلتان شكلا.**

∀(ء) ∈ مج(ح) [أ، آ، إ، ا]: م ≤ 1 مو ≤ 1 مح(ح) – {د، ذ، ر، ز، و، ا}

تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذه الأشكال: (ـأϕ، ـآϕ، ـإϕ) **إذا وفقط إذا كانت في المرتبة بعد الأولى والموقع بعد الأول. وسبقت بجميع الحروف الخطية الأخرى ماعدا** (د، ذ، ر، ز، و، ا).

∀(ء) ∈ مج(ح) [ـأ]: م ≥ 0. ^ مو ≥ 0 مح(ح) – {د، ذ، ر، ز، و، ا}

نقرأ: مهما تكن الهمزة العربية تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل إذا وفقط إذا كانت في المرتبة الأخيرة والموقع النهائي وسبقت بجميع الحروف الخطية ماعدا (د، ذ، ر، ز، و، ا).

– ∀ (ء) ∈ مج(ح) [ـؤ]: م ≤ 1 ^مو ≤ 1 مح(ح) – {د، ذ، ر، ز، و، ا}.

نقرأ: مهما تكن الهمزة العربية تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل إذا وفقط إذا كانت في المرتبة الأخيرة والموقع النهائي وسبقت بجميع الحروف الخطية ماعدا (د، ذ، ر، ز، و، ا).

– ∀ (ء) ∈ مج(ح) [ϕؤ]: م ≤ 1 ^مو ≤ {د، ذ، ر، ز، و، ا}.–مح(ح)

تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذه الأشكال: (أ، إ، آ) **إذا وفقط إذا كانت مسبوقة بالحروف** (د، ذ، ر، ز، و) **منفصلة عنها بفراغ دال عن انفصال بين الوحدتين المتجاورتين خطيا والمنفصلتان شكلا**

∀ (ء) ∈ مج(ح) [ؤ]: م = 0 ^ مو= 0 مح(ح) – {د، ذ، ر، ز، و،ا}

. نقرأ: مهما تكن الهمزة العربية تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل إذا وفقط إذا كانت في المرتبة الأخيرة والموقع النهائي وسبقت بجميع الحروف الخطية ماعدا (د، ذ، ر، ز، و، ا).

∀ (ء) ∈ مج(ح) [ـئ]: م ≤ 1^ مو≤1 ← مح(ح) − {د، ذ، ر، ز، و، ا}.

. نقرأ: مهما تكن الهمزة العربية تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل إذا وفقط إذا كانت في المرتبة مابعد الأولى والموقع الوسطي وسبقت بجميع الحروف الخطية ماعدا (د، ذ، ر، ز، و، ا).فيضاف لها وصل خطي لما يسبقها وما يلحقها

∀ (ء) ∈ مج(ح) [ئـ]: م ≤ 1 مو≤ ← {د، ذ، ر، ز، و، ا}.− مح(ح)

تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل ئ إذا وفقط إذا كانت مسبوقة بالحروف (د، ذ، ر، ز، و) منفصلة عنها بفراغ وظيفي يفصل بين الوحدتين المتجاورتين خطيا والمنفصلتان شكلا.

∀ (ء) ∈ مج(ح) [ىء]: م = 0 ^مو=0 ← مح(ح) − {د، ذ، ر، ز، و، ا}

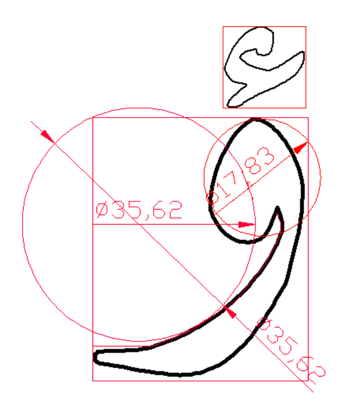
. تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا إذا وفقط إذا كانت في المرتبة مابعد الأولى في الموقع النهائي مسبوقة بمجموعة الوحدات الخطية ماعدا الحروف: (د، ذ، ر، ز، و) منفصلة عنها بفراغ وظيفي يفصل بين الوحدتين المتجاورتين خطيا والمنفصلتان شكلا.

∀(ء) ∈ مج(ح) [ئ]: م = 0^ مو=0 ← {د، ذ، ر، ز، و، ا}−.مح(ح)

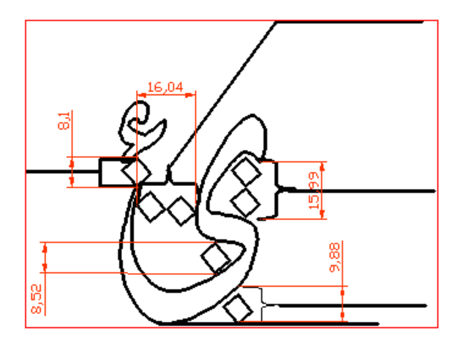
. تقرأ مهما تكن الهمزة تنتمي إلى مجموعة الحروف الخطية العربية فإنها تكتب على هذا الشكل إذا وفقط إذا كانت في المرتبة ما بعد الأولى في الموقع النهائي مسبوقة بالحروف التالية : (د، ذ، ر، ز، و) منفصلة عنها بفراغ وظيفي يفصل بين الوحدتين المتجاورتين خطيا والمنفصلتان شكلا.

6− التمثيل الهندسي لرسم الهمزة العربية

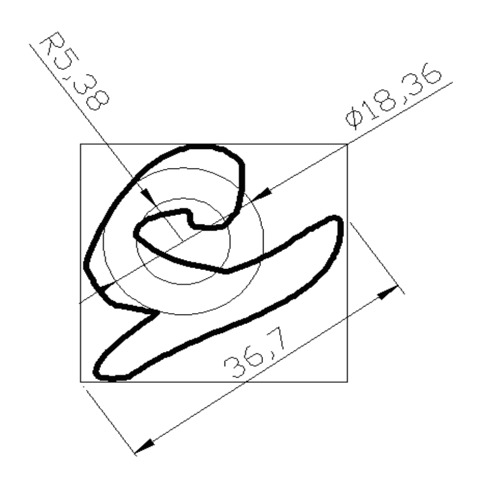
من الملاحظ في شكل الهمزة العربية في خط النسخ، هي عبارة عن خطوط هندسية مختلفة الاتجاهات مستقيمة ومنحنية ومنحدرة... كغيرها من الحروف العربية، لذا سنحاول تمثيل رسم الهمزة انطلاقا من هذه المقاييس اعتمادا على أهم "الخطاطين الرياضيين"[21] لرسم الخط اليدوي العربي في خط النسخ مثل الأشكال التالية:



يمثل الشكل حساب أبعاد واو الهمزة العربية اعتمادا على حجم عدد النقط المعمول بها في الدائرة الحسابية لرسم خط النسخي، فنجد أن نصف قطر دائرة الواو يساوي **17.83** سم ودرجة انحدارها على السطر مساو لدرجة انفراج زاويتها على السطر وهو **35.62** ^{o}



إن التوصيلات الخارجية والداخلية للهمزة فوق النبر، تظهر بكثرة في خط النسخ لكون النبر له انحدابات والتواءات متعددة ، بحيث تكون – درجة انحدار النبر على السطر يساوي **9.88** ^{o} وطول ارتفاع الهمزة عن النبر يساوي **8.1** سم، أما درجة انفراج زاوية رأس النبر يساوي **15.99** ^{o}، وطول انفراج ذيل النبر مع الرأس يساوي **16.4** سم



طول استقامة الهمزة على السطر يساوي 36.7 سم
نصف قطر الهمزة يساوي 5.38 سم
محيط الهمزة يساوي 18.36سم

تعتبر هذه المقاييس الحسابية دراسات، نمذجية لجعل أشكال رسم الهمزة العربية قابلة للتعرف من قبل الحاسوب.

وأخيرا نقول أن تطوير اللغة العربية في مجال الحاسوبيات ومواكبتها للتطور الحديث التي توصلت إليه اللغات اللاتينية، يتوقف على إنشاء برنامج حول التعرف الآلي على الخط اليدوي العربي خاص باللغة العربية فحسب يراعي فيه خصائص الكتابة العربية من جمع النواحي، ولتحقيق ذلك يستلزم مراحل وتقنيات متعددة تشمل على سلسلة مكونة من أربع خورزمات هي:

1- تحليل الطيف الخطي: وتستعمل فيها طرق التحليل الترددي والترابط الذاتي وتقنيات التقاطع مع الصفر للإشارة الخطية، وكلها تقنيات ترشح الخط

2- تحديد الخصائص العامة للوحدة الخطية: تستعمل هذه الخورزميات لاستخراج السمات في العينة الخطية المختلفة على وتيرة زمنية مناسبة على طول الوحدة الخطية وحجمها، ثم تخزن في مصفوفة معيارية ومن أمثلة هذه السمات الارتفاع، والعرض، والمساحة ... وغيرها

3- تسوية شكل الوحدة الخطية: إن السرعة وطريقة الكتابة تختلف من شخص لآخر أو حتى من زمن لآخر لذا لابد من توحيد هذه الطريقة والسرعة في الكتابة، ضمن الحاسوب، وذلك بضبط جميع اختلافات الخط عن طريق أخذ العينات

4- إنشاء قاعد معطيات: و هي الخورزميات الأخيرة في عملية التعرف، وتتضمن تقنيات مختلفة انطلاقا من سلسلة من المعارف والمرور بسلسلة من المستويات اللغوية خصوصا، وأن الخط اليدوي العربي متعدد الأحجام والأشكال في مجموعة منتهية تحتوي على 29 حرفا ذوي أربع مواضيع هي: بداية الحرف، وسط الحرف، وآخر الحرف بالإضافة إلى حالة تطرف الحرف وحركات الفتح والكسر والضم والسكون التي لها حالات التنوين بالفتح، والتنوين بالضم، والتنويت بالكسر وحركات المد (ا، و، ي) كل هذه الأشكال المختلفة والمتعددة التي تحمل 116 شكلا للحروف (29 X 4 = 116) و12 شكلا للحركات (4 X 3 = 12) و3 حركات المدى

كما تزود قاعدة المعطيات بمجموعة من الضوابط اللغوية للوحدة الخطية لإنجاح عملية التعرف منها:

- **الضابط الصرفي: تدرس هيئة الوحدة الخطية، وتشمل قواعد الجمع والتصريف والإبدال لشكل الوحدة الخطية... وغيرها من التبديلات.**
- **الضابط الإملائي: يدرس مختلف قواعد الرسم الخطي للحرف العربي.**
- **الضابط التركيبي: يدرس تركيب الوحدة الخطية وفقا للقواعد النحوية.**
- **الضابط الدلالي: يختبر الوحدات الخطية الصحيحة إملائيا والخاطئة دلاليا»**[22]

5- التطبيق: باستعمال أحد البرامج الحاسوبية التي تدخل ضمن فروع الذكاء الاصطناعي والتي تهدف إلى ما يلي:

أولا: تمييز الخط أي التعرف الآلي على الخط اليدوي العربي.

ثانيا: إنتاج الخط اليدوي العربي، أي توليد حروف مطبعية تحاكي حروف الخط العربي.

الهوامش

[1]– ينظر ترجمة

.Cilles Burel, Sermes Lavoisier, Jacques Broesch Introduction au traitement d'image, simulation sous MATLAB

[2]– ينظر حليمي عبد القادر مدخل علم الإحصاء: د.م.ج، دط 1994، الجزائر ص15.

[3]– ينظر وديع نسيم أسعد و فاتن فهم محمود مراجعة د رمزي حبيب داود المبادئ الأولية في الإحصاء نيويورك /شيشتر بريس الناشر دار جون وأبناءه ص 15

[4]– ينظر المبادئ الأولية في الإحصاء المرجع السابق ص 16–17

[5]– ينظر ابراهيم علي ابراهيم عبد ربه مباءئ علم الإحصاء بيروت العربية جامعة الاسكندرية 2002 ص 25.

[6]– ينظر الباهي حسان اللغة والمنطق المركز الثقافي العربي دار للنشر والتوزيع ط1 2000ص38–42

[7]– ينظر مصطفى حركات الكتابة والقراءة قضايا الخط العربي الأبيار، الجزائر دار الآفاق ص 45

[8]– ينظر محمد عادل الرياضيات العامة ديوان المطبوعات الجامعية 1979ص 79

[9]– ينظر ممرتضى جواد باقرمقدمة في نظرية القواعد التوليدية الأردن عمان دار الشروق للنشر والتوزيع 2002 ص 89.

[10]– ينظر الأزوي ابن دريد كتاب الاشتقاق مكتبة المثنى بغداد ط2 1972 وينظر فرحات عياش الاشتقاق ودوره في نمو اللغة يوان المطبوعات الجامعية الجزائر.

[11]– ينظر جواد باقر مقدمة في نظرية توليدية مرجع سابق ص 102

[12]– ينظر بيتي فهيم لكحل عبد الوهاب تمارين محلولة في الرياضيات الجزائر ديوان المطبوعات الجامعية 2000 ص 39

[13]– عبد القاهر الجرجاني دلائل الإعجاز ط1 بيروت دار المعرفة 1994. ص 9

[14]– تمام حسان البيان في روائع القرآن دراسة لغوية وأسلوبية القاهرة عالم والكتب 1413–1993 ص 91.

[15]– ينظر أحمد المتوكل قضايا اللغة العربية في اللسانيات الوصفية (بنية المكونات أو التمثيل الصرفي التركيبي) الرباط دار الأمان ص 177 وينظر عبده الراجحي التطبيق النحوي بيروت دار النهضة العربية للطباعة والنشر 1979.

[16]– تمام حسان اللغة العربية معناها ومبناها مرجع سابق ص31.

[17]– شرح الأشموني على ألفية ابن مالك القاهرة مكتبة النهضة ط3 1970 ص 286.

[18]– حساني أحمد في المسات التفريعية الفعل في البنية التركيبية مقاربة لسانية ديوان المطبوعات الجامعية 1993 ص 116.

[19]– ينظر إبراهيم أنيس مدخل إلى علم الأصوات اللغوية القاهرة مكتبة الأتجلو المصرية د.ط 1971م.ص 53

[20]– ينظر المتوكل أحمد قضايا اللغة العربية في اللسانيات الوصفية م س ص 85 وينظر:

Noem chomskey structure syntaxiques1969 edition seuil pou rla traductin

[21] ينظر ابن مقلة في كتاب المسعود حسن، الخط العربي، دار نشر فلاماريون، باريس 1981، ص58–59.

– وينظر البهنسي عفيف فن الخط العربي بيروت لبنان دار الفكر المعاصر

[22] Hassane Chelayh :" analyse phonographématique de l'Arabe en vue d'application informatique". Thèse de doctorat présentée à l'université de Paris VII Inria Sophia Antropolis – 123 ص